

DERWENT-ACC-NO: 1998-197424

DERWENT-WEEK: 199818

COPYRIGHT 2005 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Tetra-port optical circulator for ADM used in optical communication - has second polarization beam splitter which is arranged such that light from polarization film of first splitter is projected on it

PRIORITY-DATA: 1996JP-0207202 (August 6, 1996)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
JP 10048572 A	February 20, 1998	N/A	016	G02B 027/28

INT-CL (IPC): G02B027/28

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 10048572A

BASIC-ABSTRACT:

The circulator (100) has an optical isolator element (30) which radiates light projected from a first side to the second side. The light projected from the second side is divided and radiated to the first side by the optical isolator element. A pair of polarization beam splitters (40,50) is arranged on both the sides of the optical isolator element, respectively.

Each beam splitter has a pair of polarization films separated by a distance in an inclined direction. The second beam splitter is arranged such that light from two polarization films of first beam splitter are projected.

ADVANTAGE - Improves isolation characteristic. Simplifies assembly. Improves position accuracy.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/16

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-48572

(43) 公開日 平成10年(1998) 2月20日

(51) Int.Cl.⁸

G 0 2 B 27/28

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 27/28

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平8-207202

(22) 出願日 平成8年(1996) 8月6日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 菅沼 寛

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 平井 茂

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 佐々木 隆

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

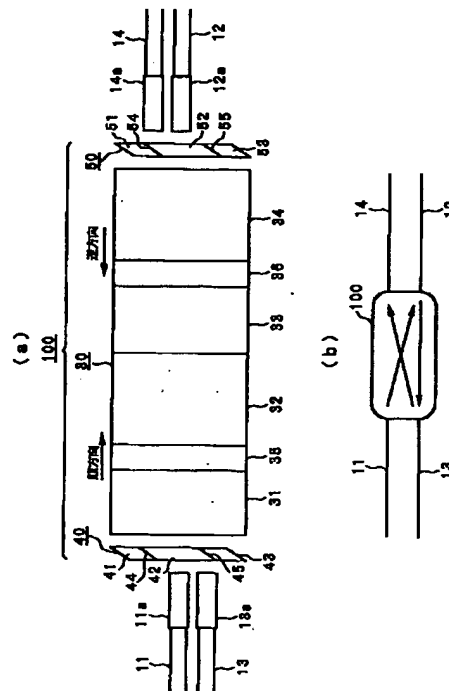
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光サーキュレータおよび光分岐挿入部品

(57) 【要約】

【課題】 部品点数が少なくアイソレーション特性が優れた光サーキュレータおよびこれを用いた光分岐挿入部品を提供する。

【解決手段】 第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、第2の側から逆方向に入射した光を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して第1の側に出射する光アイソレータ素子30と、光アイソレータ素子30の両側それぞれに配され、2つの偏光膜それぞれが一定方向に所定分離幅の距離だけ互いに離れて平行に形成された偏光ビームスプリッタ40および50と、を備えて、4ポートの光サーキュレータが構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、前記第2の側から逆方向に入射した光を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して前記第1の側に出射する光アイソレータ素子と、

前記光アイソレータ素子の前記第1の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、前記順方向および前記一定方向の双方に対して傾斜し、且つ、前記一定方向に前記所定分離幅の距離だけ互いに離れて形成された第1の偏光ビームスプリッタと、

前記光アイソレータ素子の前記第2の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、前記逆方向および前記一定方向の双方に対して傾斜し、前記一定方向に前記所定分離幅の距離だけ互いに離れて、且つ、前記第1の偏光ビームスプリッタの前記2つの偏光膜それぞれから前記順方向に入射した光が到達する位置に形成された第2の偏光ビームスプリッタと、

を備えることを特徴とする光サーキュレータ。

【請求項2】 前記第1の偏光ビームスプリッタの前記第1の側であって前記第1の偏光ビームスプリッタの前記2つの偏光膜の中央に前記順方向に向かって先端部が配され、光を出力する第1の光ファイバと、

前記第2の偏光ビームスプリッタの前記第2の側であって前記第1の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記逆方向に向かって先端部が配され、光を入力する第2の光ファイバと、

前記第1の偏光ビームスプリッタの前記第1の側であって前記第2の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記順方向に向かって先端部が配され、光を入力する第3の光ファイバと、

前記第2の偏光ビームスプリッタの前記第2の側であって前記第3の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記逆方向に向かって先端部が配され、光を入力する第4の光ファイバと、

を更に備えることを特徴とする請求項1記載の光サーキュレータ。

【請求項3】 前記第1乃至前記第4の光ファイバそれぞれの先端部に微小レンズが装着されている、ことを特徴とする請求項2記載の光サーキュレータ。

【請求項4】 前記微小レンズは屈折率分布型ファイバチップレンズである、ことを特徴とする請求項3記載の光サーキュレータ。

【請求項5】 前記光アイソレータ素子ならびに前記第1および前記第2の偏光ビームスプリッタを矩形溝加工された溝部に装着する基板を更に備える、ことを特徴とする請求項1記載の光サーキュレータ。

【請求項6】 第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、前記第2の側から逆方向に入射した光を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅

で分離して前記第1の側に出射する光アイソレータ素子と、

前記光アイソレータ素子の前記第1の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、前記順方向および前記一定方向の双方に対して傾斜し、且つ、前記一定方向に前記所定分離幅の距離だけ互いに離れて形成された偏光ビームスプリッタと、

を備えることを特徴とする光サーキュレータ。

【請求項7】 前記偏光ビームスプリッタの前記第1の側であって前記第1の偏光ビームスプリッタの前記2つの偏光膜の中央に前記順方向に向かって先端部が配され、光を出力する第1の光ファイバと、

前記光アイソレータの前記第2の側であって前記第1の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記逆方向に向かって先端部が配され、光を入力する第2の光ファイバと、

前記偏光ビームスプリッタの前記第1の側であって前記第2の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記順方向に向かって先端部が配され、光を入力する第3の光ファイバと、

を更に備えることを特徴とする請求項6記載の光サーキュレータ。

【請求項8】 前記第1乃至前記第3の光ファイバそれぞれの先端部に微小レンズが装着されている、ことを特徴とする請求項7記載の光サーキュレータ。

【請求項9】 前記微小レンズは屈折率分布型ファイバチップレンズである、ことを特徴とする請求項8記載の光サーキュレータ。

【請求項10】 前記光アイソレータ素子および前記偏光ビームスプリッタを矩形溝加工された溝部に装着する基板を更に備える、ことを特徴とする請求項6記載の光サーキュレータ。

【請求項11】 第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、前記第2の側から逆方向に入射した光を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して前記第1の側に出射する第1の光アイソレータ素子と、前記第1の光アイソレータ素子の前記第1の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、前記順方向および前記一定方向の双方に対して傾斜し、且つ、前記一定方向に前記所定分離幅の距離だけ互いに離れて形成された第1の偏光ビームスプリッタと、前記第1の光アイソレータ素子の前記第2の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、前記逆方向および前記一定方向の双方に対して傾斜し、前記一定方向に前記所定分離幅の距離だけ互いに離れて、且つ、前記第1の偏光ビームスプリッタの前記2つの偏光膜それぞれから前記順方向に入射した光が到達する位置に形成された第2の偏光ビームスプリッタと、を備える4ポート光サーキュレータと、

第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、前記第2の側から逆方向に入射した光

を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して前記第1の側に出射する第2の光アイソレータ素子と、前記第2の光アイソレータ素子の前記第1の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、前記順方向および前記一定方向の双方に対して傾斜し、且つ、前記一定方向に前記所定分離幅の距離だけ互いに離れて形成された第3の偏光ビームスプリッタと、を備える3ポート光サーキュレータと、

前記第1の偏光ビームスプリッタの前記第1の側であって前記第1の偏光ビームスプリッタの前記2つの偏光膜の中央に前記順方向に向かって先端部が配され、光を出力する第1の光ファイバと、

前記第2の偏光ビームスプリッタの前記第2の側であって前記第1の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記逆方向に向かって先端部が配され、光を入力する第2の光ファイバと、

前記第1の偏光ビームスプリッタの前記第1の側であって前記第2の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記順方向に向かって先端部が配され、光を入力するとともに、光軸に沿った所定範囲に亘って光軸に垂直に所定周期のブラッグ型回折格子が形成された第3の光ファイバと、

前記第2の偏光ビームスプリッタの前記第2の側であって前記第3の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記逆方向に向かって先端部が配され、光を入力する第4の光ファイバと、

前記第3の偏光ビームスプリッタの前記第1の側であって前記第1の偏光ビームスプリッタの前記2つの偏光膜の中央に前記順方向に向かって先端部が配され、光を出力する第5の光ファイバと、

前記第2の光アイソレータの前記第2の側であって前記第5の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記逆方向に向かって先端部が配され、光を入力するとともに、前記第3の光ファイバと実質的に接続された第6の光ファイバと、

前記第3の偏光ビームスプリッタの前記第1の側であって前記第6の光ファイバから出射された光が到達する位置に前記順方向に向かって先端部が配され、光を入力する第7の光ファイバと、

を備えることを特徴とする光分岐挿入部品。

【請求項12】 前記第1および前記第3の光ファイバそれぞれは、1つのテープ状光ファイバに含まれる光ファイバであって一括してブラッグ型回折格子が形成されている、ことを特徴とする請求項1記載の光分岐挿入部品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバを用いた光通信などに用いられる光サーキュレータ、および、この光サーキュレータを用いた光分岐挿入部品に関する

ものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、光サーキュレータは、波長多重通信方式を用いた双方向通信システムにおいて、光フィルタとともに光分岐挿入部品（光ADM：Add-Drop Multiplexer）を構成するものとして用いられている。図16は、光分岐挿入部品の構成図である。この光分岐挿入部分は、2つの光サーキュレータ1、2と1つの光フィルタ3とから構成されている。ここでは、光フィルタ3は、光ファイバ8上にブラッグ型回折格子が形成されたファイバグレーティングであって、波長 λ_2 の光信号を反射させるものである。

【0003】この図で、ネットワークから光ファイバ4を伝搬してきた3波長 λ_1 、 λ_2 および λ_3 の光信号は、光サーキュレータ1に入射すると、光ファイバ8に出射される。そのうち、波長 λ_1 および λ_3 の光信号は、ファイバグレーティング3を通過して、光サーキュレータ2に入射し、そして、光ファイバ6に出射され、再び、ネットワークに戻っていく。しかし、光サーキュレータ1から光ファイバ8に出射された光信号のうち波長 λ_2 の光信号は、ファイバグレーティング3で反射され、再び、光サーキュレータ1に入射するが、今度は光ファイバ5に出射され、加入局へ伝搬していく。一方、加入局から光ファイバ7を伝搬してきた波長 λ_2 の光信号は、光サーキュレータ2に入射し、光ファイバ8に出射され、ファイバグレーティング3で反射され、再び、光サーキュレータ2に入射し、そして、光ファイバ6に出射され、ネットワークへ伝搬していく。

【0004】このような光分岐挿入部品に用いられる光フィルタは、光ファイバ上に形成されたブラッグ型回折格子であるファイバグレーティングであるので、小型で安価な狭帯域のものとして好適に用いられている。

【0005】一方、従来、光サーキュレータは、種々のものが提案されている（例えば、特公昭60-49887、特開平4-348313号公報）。これら従来の光サーキュレータは、何れも、偏光ビームスプリッタを主たる構成要素としており、この偏光ビームスプリッタのアイソレーション作用を利用したものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の光サーキュレータでは、アイソレーション作用の効率は、偏光ビームスプリッタの偏光膜における偏光分離度により制限されるため、アイソレーション特性は、一般に30dB以下であり不十分であった。従来の光サーキュレータの構成を改善してアイソレーション特性を向上させることも可能ではあるが、その結果、部品点数が多くなり材料費や加工費が増大し、高価格となってしまう等の問題が生じる。

【0007】本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、部品点数が少なく且つアイソレーシ

ン特性が優れた光サーキュレータおよびこれを用いた光分岐挿入部品を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る光サーキュレータは、(1) 第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、第2の側から逆方向に入射した光を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して第1の側に出射する光アイソレータ素子と、(2) 光アイソレータ素子の第1の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、順方向および一定方向の双方に対して傾斜し、且つ、一定方向に所定分離幅の距離だけ互いに離れて形成された第1の偏光ビームスプリッタと、(3) 光アイソレータ素子の第2の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、逆方向および一定方向の双方に対して傾斜し、一定方向に所定分離幅の距離だけ互いに離れて、且つ、第1の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜それぞれから順方向に入射した光が到達する位置に形成された第2の偏光ビームスプリッタと、を備えることを特徴とする。

【0009】この光サーキュレータによれば、第1の偏光ビームスプリッタの第1の側であって2つの偏光膜の中央位置(第1のポート)から入射した光は、第1の偏光ビームスプリッタの偏光膜が形成されていない部分を透過し、光アイソレータ素子を通過した後も合一に出射され、第2の偏光ビームスプリッタの偏光膜が形成されていない部分を透過して、第2のポートの位置に出射される。第2のポートの位置から入射した光は、第2の偏光ビームスプリッタの偏光膜が形成されていない部分を透過して、光アイソレータ素子を通過した後は偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して出射され、第1の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜により合一されて、第3のポートの位置に出射される。第3のポートの位置から入射した光は、第1の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜により偏光成分ごとに分離され、その偏光成分それぞれが光アイソレータ素子を通過し、第2の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜により合一されて、第4のポートの位置に出射される。

【0010】しかし、第4のポートの位置から入射した光は、第2の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜により偏光成分ごとに分離され、その偏光成分それぞれが光アイソレータ素子を通過し、第1の偏光ビームスプリッタの偏光膜が形成されていない部分を透過して出射されるが、その出射位置は、第1のポートの位置でもなく、第3のポートの位置でもない。以上のように、この光サーキュレータは、第1のポートの位置から入射した光を第2のポートの位置へのみ伝搬させ、第2のポートの位置から入射した光を第3のポートの位置へのみ伝搬させ、第3のポートの位置から入射した光を第4のポートの位置へのみ伝搬させ、第4のポートの位置から入射した光を何れのポートの位置へも伝搬させないので、結

局、4ポートの光アイソレータとなる。

【0011】請求項2に係る光サーキュレータは、請求項1記載の光サーキュレータであって、(1) 第1の偏光ビームスプリッタの第1の側であって第1の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜の中央に順方向に向かって先端部が配され、光を出力する第1の光ファイバと、(2) 第2の偏光ビームスプリッタの第2の側であって第1の光ファイバから出射された光が到達する位置に逆方向に向かって先端部が配され、光を入出力する第2の光ファイバと、(3) 第1の偏光ビームスプリッタの第1の側であって第2の光ファイバから出射された光が到達する位置に順方向に向かって先端部が配され、光を入出力する第3の光ファイバと、(4) 第2の偏光ビームスプリッタの第2の側であって第3の光ファイバから出射された光が到達する位置に逆方向に向かって先端部が配され、光を入力する第4の光ファイバと、を更に備えることを特徴とする。

【0012】このように、第1のポートの位置に第1の光ファイバの先端部が配され、第2のポートの位置に第2の光ファイバの先端部が配され、第3のポートの位置に第3の光ファイバの先端部が配され、第4のポートの位置に第4の光ファイバの先端部が配されると、光サーキュレータは、通信システムで用いるのに好適である。

【0013】請求項3に係る光サーキュレータは、請求項2記載の光サーキュレータであって、第1乃至第4の光ファイバそれぞれの先端部に微小レンズが装着されていることを特徴とする。この場合、光ファイバを伝搬してきた光は、微小レンズにより略平行光として出射されて第1または第2の偏光ビームスプリッタに入射し、また、第1または第2の偏光ビームスプリッタから略平行光として出射された光は、微小レンズにより光フィルタに高効率に入射する。

【0014】請求項4に係る光サーキュレータは、請求項3記載の光サーキュレータであって、微小レンズは屈折率分布型ファイバチップレンズであることを特徴とする。この場合、集積性や実装性に優れる。

【0015】請求項5に係る光サーキュレータは、請求項1記載の光サーキュレータであって、光アイソレータ素子ならびに第1および第2の偏光ビームスプリッタを矩形溝加工された溝部に装着する基板を更に備えることを特徴とする。この場合、組立が容易となり、位置精度にも優れる。

【0016】請求項6に係る光サーキュレータは、(1) 第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、第2の側から逆方向に入射した光を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して第1の側に出射する光アイソレータ素子と、(2) 光アイソレータ素子の第1の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、順方向および一定方向の双方に対して傾斜し、且つ、一定方向に所定分離幅の距離だけ互いに離れて形成された偏

光ビームスプリッタと、を備えることを特徴とする光サーキュレータ。

【0017】この光サーキュレータによれば、偏光ビームスプリッタの第1の側であって2つの偏光膜の中央位置(第1のポート)から入射した光は、偏光ビームスプリッタの偏光膜が形成されていない部分を透過し、光アイソレータ素子を通過した後も合一にされ、第2のポートの位置に出射される。第2のポートの位置から入射した光は、光アイソレータ素子を通過した後は偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して出射され、偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜により合一されて、第3のポートの位置に出射される。

【0018】しかし、第3のポートの位置から入射した光は、偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜により偏光成分ごとに分離され、その偏光成分それぞれが光アイソレータ素子を通過して出射されるが、その出射位置は、第2のポートの位置ではない。以上のように、この光サーキュレータは、第1のポートの位置から入射した光を第2のポートの位置へのみ伝搬させ、第2のポートの位置から入射した光を第3のポートの位置へのみ伝搬させ、第3のポートの位置から入射した光を何れのポートの位置へも伝搬させないので、結局、3ポートの光アイソレータとなる。

【0019】請求項7に係る光サーキュレータは、請求項6記載の光サーキュレータであって、(1) 偏光ビームスプリッタの第1の側であって第1の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜の中央に順方向に向かって先端部が配され、光を出力する第1の光ファイバと、(2) 光アイソレータの第2の側であって第1の光ファイバから出射された光が到達する位置に逆方向に向かって先端部が配され、光を入出力する第2の光ファイバと、(3) 偏光ビームスプリッタの第1の側であって第2の光ファイバから出射された光が到達する位置に順方向に向かって先端部が配され、光を入力する第3の光ファイバと、を更に備えることを特徴とする。

【0020】このように、第1のポートの位置に第1の光ファイバの先端部が配され、第2のポートの位置に第2の光ファイバの先端部が配され、第3のポートの位置に第3の光ファイバの先端部が配されると、光サーキュレータは、通信システムで用いるのに好適である。

【0021】請求項8に係る光サーキュレータは、請求項7記載の光サーキュレータであって、第1乃至第3の光ファイバそれぞれの先端部に微小レンズが装着されていることを特徴とする。この場合、光ファイバを伝搬してきた光は、微小レンズにより略平行光として出射されて偏光ビームスプリッタまたは光アイソレータ素子に入射し、また、偏光ビームスプリッタまたは光アイソレータ素子から略平行光として出射された光は、微小レンズにより光フィルタに高効率に入射する。

【0022】請求項9に係る光サーキュレータは、請求

項8記載の光サーキュレータであって、微小レンズは屈折率分布型ファイバチップレンズであることを特徴とする。この場合、集積性や実装性に優れる。

【0023】請求項10に係る光サーキュレータは、請求項6記載の光サーキュレータであって、光アイソレータ素子および偏光ビームスプリッタを矩形溝加工された溝部に装着する基板を更に備えることを特徴とする。この場合、組立が容易となり、位置精度にも優れる。

【0024】請求項11に係る光サーキュレータは、(1) 第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、第2の側から逆方向に入射した光を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して第1の側に出射する第1の光アイソレータ素子と、第1の光アイソレータ素子の第1の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、順方向および一定方向の双方に対して傾斜し、且つ、一定方向に所定分離幅の距離だけ互いに離れて形成された第1の偏光ビームスプリッタと、第1の光アイソレータ素子の第2の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、逆方向および一定方向の双方に対して傾斜し、一定方向に所定分離幅の距離だけ互いに離れて、且つ、第1の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜それぞれから順方向に入射した光が到達する位置に形成された第2の偏光ビームスプリッタと、を備える4ポート光サーキュレータと、(2) 第1の側から順方向に入射した光を合一に第2の側に出射するとともに、第2の側から逆方向に入射した光を偏光成分ごとに一定方向に所定分離幅で分離して第1の側に出射する第2の光アイソレータ素子と、第2の光アイソレータ素子の第1の側に配され、2つの偏光膜それぞれが、順方向および一定方向の双方に対して傾斜し、且つ、一定方向に所定分離幅の距離だけ互いに離れて形成された第3の偏光ビームスプリッタと、を備える3ポート光サーキュレータと、(3) 第1の偏光ビームスプリッタの第1の側であって第1の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜の中央に順方向に向かって先端部が配され、光を出力する第1の光ファイバと、(4) 第2の偏光ビームスプリッタの第2の側であって第1の光ファイバから出射された光が到達する位置に逆方向に向かって先端部が配され、光を入出力する第2の光ファイバと、(5) 第1の偏光ビームスプリッタの第1の側であって第2の光ファイバから出射された光が到達する位置に順方向に向かって先端部が配され、光を入出力するとともに、光軸に沿った所定範囲に亘って光軸に垂直に所定周期のブラッグ型回折格子が形成された第3の光ファイバと、(6) 第2の偏光ビームスプリッタの第2の側であって第3の光ファイバから出射された光が到達する位置に逆方向に向かって先端部が配され、光を入力する第4の光ファイバと、(7) 第3の偏光ビームスプリッタの第1の側であって第1の偏光ビームスプリッタの2つの偏光膜の中央に順方向に向かって先端部が配され、光を出力する第5の光ファイバと、(8) 第2の光

10

20

30

40

50

アイソレータの第2の側であって第5の光ファイバから出射された光が到達する位置に逆方向に向かって先端部が配され、光を入出力するとともに、第3の光ファイバと実質的に接続された第6の光ファイバと、(9) 第3の偏光ビームスプリッタの第1の側であって第6の光ファイバから出射された光が到達する位置に順方向に向かって先端部が配され、光を入力する第7の光ファイバと、を備えることを特徴とする。

【0025】これは、請求項1記載の4ポートの光サーキュレータと請求項6記載の3ポートの光サーキュレータとを組み合わせたものである。この光分岐挿入部品によれば、第2の光ファイバを伝搬してきて4ポート光サーキュレータに入射した光は、その波長が第3の光ファイバに形成されたブラッグ型回折格子におけるブラッグ条件を満たす場合には、第4の光ファイバに出射され、そのブラッグ条件を見ない場合には、3ポート光サーキュレータを経て第7の光ファイバへ出射される。第6の光ファイバを伝搬してきて3ポート光サーキュレータに入射した光は、その波長が第3の光ファイバに形成されたブラッグ型回折格子におけるブラッグ条件を満たす場合には、第7の光ファイバへ出射される。すなわち、第2および第7の光ファイバがネットワーク側に接続され、第4および第6の光ファイバが加入局側に接続されることにより、ブラッグ型回折格子におけるブラッグ条件を満たす波長の光を分岐・挿入することができる光分岐挿入部品として作用する。さらに、第1の光ファイバを伝搬してきて4ポート光サーキュレータに入射した光は、第2の光ファイバに出射されるので、例えばモニタ用の予備光を送信することができる。

【0026】請求項12に係る光分岐挿入部品は、請求項11記載の光分岐挿入部品であって、第1および第3の光ファイバそれぞれは、1つのテーパ状光ファイバに含まれる光ファイバであって一括してブラッグ型回折格子が形成されていることを特徴とする。この場合、加工性に優れ工程が簡略化される。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。尚、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0028】まず、本発明に係る4ポート光サーキュレータについて説明する。図1は、本発明に係る4ポート光サーキュレータの構成図であり、図1(a)は、光サーキュレータの構造説明図であり、図1(b)は、光サーキュレータの機能説明図である。この4ポート光サーキュレータ100は、光アイソレータ素子30ならびに偏光ビームスプリッタ40および50を備えるものであり、この図では、この光サーキュレータ100の第1のポートの位置に第1の光ファイバ11の先端部が、第2のポートの位置に第2の光ファイバ12の先端部が、第

3のポートの位置に第3の光ファイバ13の先端部が、第4のポートの位置に第4の光ファイバ14の先端部が、それぞれ配されている。

【0029】光ファイバ11, 12, 13および14それぞれは、先端部に屈折率分布型光ファイバチップレンズ(以下、GIFチップレンズ)11a, 12a, 13aおよび14aそれぞれが融着接続されている。これらのGIFチップレンズは、外径が、通信用光ファイバの外径(125μm)と略同一であって、光ファイバを伝搬してきた光を略平行光として外部に出射するとともに、外部から略平行光として入射した光を高効率に光ファイバに伝搬させるものである。GIFチップレンズは、集積性や実装性に優れ、本発明に係る光サーキュレータ100と光ファイバとを接続する場合に好適である。なお、他のタイプのレンズが設けられていてもよい。

【0030】光ファイバ11および13は互いに略平行に配され、また、光ファイバ14および12も互いに略平行に配され、光ファイバ11および13と光ファイバ14および12とは、互いに先端部が対向している。そして、光ファイバ11および13それぞれの先端部と光ファイバ14および12それぞれの先端部との間に、光サーキュレータ100が配され、その光サーキュレータ100は、光アイソレータ素子30を偏光ビームスプリッタ40および50で挟んだ構成となっている。偏光ビームスプリッタ(第1の偏光ビームスプリッタ)40は、光ファイバ11および13それぞれの先端部と光アイソレータ素子30との間に配されており、偏光ビームスプリッタ(第2の偏光ビームスプリッタ)50は、光ファイバ14および12それぞれの先端部と光アイソレータ素子30との間に配されている。

【0031】光アイソレータ素子30は、第1の側から順方向に入射した光については、その反対側である第2の側に合一させて出射させるが、第2の側から逆方向に入射した光については、第1の側に偏光成分によって異なる位置に分離して出射させるものである。

【0032】例えば、この図に示すように、光アイソレータ素子30は、複屈折性平板31、ファラデー回転子35、複屈折性平板32、複屈折性平板33、ファラデー回転子36および複屈折性平板34がこの順に積層されて構成される。ここで、複屈折性平板31, 32, 33および34それぞれは、例えば、その厚さの比が

$$1 : 2^{0.5} : 2^{0.5} : 1 \quad \dots (1)$$

であってもよいし、また、

$$1 : 1 + 2^{0.5} : 1 : 1 + 2^{0.5} \quad \dots (2)$$

であってもよい(特開平6-242403号公報を参照)。また、複屈折性平板31, 32, 33および34それぞれは、光の入射方向に対して光学軸が一定角度だけ傾斜し、かつ、互いに光学軸が所定角度だけ回転して配置されている。ファラデー回転子35および36それ

11

それは、永久磁石（図示せず）により磁化されると、入射光の偏光方向を一定角度だけ回転させるものである。

【0033】これら複屈折性平板31、32、33および34それぞれの光学軸方向ならびにファラデー回転子35および36それぞれの偏光回転角は、以下の関係を有する。すなわち、光が順方向に複屈折性平板31に入射すると、常光線と異常光線とに分離されるが、これらがファラデー回転子35により偏光方向が回転しても、複屈折性平板32に入射するときには、常光線と異常光線はそのままである。しかし、複屈折性平板33に入射すると常光線と異常光線とが入れ替わる。その後、ファラデー回転子36により偏光方向が回転して複屈折性平板34に入射しても、常光線と異常光線とはそのまま維持される。そして、複屈折性平板34から出射されるときは、光は合一されて出射される。

【0034】一方、光が逆方向に複屈折性平板34に入射すると、常光線と異常光線とに分離されるが、これらがファラデー回転子36により偏光方向が回転すると、複屈折性平板33に入射するときには、常光線と異常光線とが入れ替わる。その後、複屈折性平板32に入射すると、常光線と異常光線とが更に入れ替わり、ファラデー回転子35により偏光方向が回転すると、複屈折性平板31に入射するときには、常光線と異常光線とがもう一度入れ替わる。そして、複屈折性平板31から出射されるときは、偏光成分ごとに所定方向に所定分離幅Wだけ離れた位置に出射される。

【0035】このように、光の入射方向によって、常光線と異常光線との入れ替わり方が異なり、また、常光線と異常光線とは複屈折性平板31、32、33および34それぞれにおける伝搬方向が異なる。光アイソレータ素子30は、このことを利用して、アイソレーション作用を行う。

【0036】なお、光アイソレータ素子は、この構成に限られるのではなく、他の構成でもよい。例えば、厚さ比が1:1の2枚の複屈折平板、1枚の2分の1波長板および1枚のファラデー回転子から構成されるものであってもよい。しかし、高効率なアイソレーション作用を得るためには、ファラデー回転子を備える光アイソレータ素子が好適である。

【0037】偏光ビームスプリッタ40は、3枚の石英ガラス41、42および43が互いに平行な偏光膜44および45を挟んで構成されたものであり、この偏光膜44および45それぞれは、光ファイバ11および13それぞれから出射される光の光軸に対して45度傾いている。また、偏光膜44および45それぞれは、光アイソレータ素子30の複屈折性平板34から入射した光の偏光成分それぞれが複屈折性平板31に分離出射されるときにその分離幅Wの距離だけ離れて配される。この偏光膜は、入射光のうちの一定偏光成分を透過させるが、これに直交する偏光成分を反射させるものであ

12

る。また、光ファイバ11は、それから出射される光が石英42をそのまま透過するよう配置されており、光ファイバ13は、それから出射される光が偏光膜42に入射するよう配置されている。

【0038】同様に、偏光ビームスプリッタ50は、3枚の石英ガラス51、52および53が偏光膜54および55を挟んで構成されたものであり、この偏光膜54および55それぞれは、光ファイバ14および12それぞれから出射される光の光軸に対して45度傾いている。偏光膜54は、光が偏光膜44の位置から光アイソレータ素子30を経て出射される位置に配され、偏光膜55は、光が偏光膜45の位置から光アイソレータ素子30を経て出射される位置に配される。また、光ファイバ12は、それから出射される光が石英ガラス52をそのまま透過するよう配置されており、光ファイバ14は、それから出射される光が偏光膜54に入射するよう配置されている。

【0039】このような光サーキュレータ100は、図1(b)に示すように、光ファイバ11を伝搬してきた光を入射して光ファイバ12に出射し、光ファイバ12を伝搬してきた光を入射して光ファイバ13に出射し、光ファイバ13を伝搬してきた光を入射して光ファイバ14に出射するものである。以下、この光アイソレータ素子30、偏光ビームスプリッタ40、50および各光ファイバとの配置関係ならびに光サーキュレータ100の作用の詳細について図2乃至図5を用いて説明する。

【0040】図2は、光ファイバ11から光が入射した場合の光伝搬の説明図である。この場合、光ファイバ11の先端部のGIFチップレンズ11aから出射された光は、偏光ビームスプリッタ40の石英ガラス42を透過して、光アイソレータ素子30の複屈折性平板31に入射する。すると、複屈折性平板31により、その光は互いに直交する偏光成分（常光線と異常光線）によって互いに異なる経路を進むが、ファラデー回転子35を経て複屈折性平板32を出た所で再び合一される。更に、その光は、複屈折性平板33に入射すると、常光線と異常光線とが入れ替わり、複屈折性平板33、ファラデー回転子36および複屈折性平板34により、途中では偏光成分に応じて分離されるが、出射される時点では合一されて出射される。そして、その光は、偏光ビームスプリッタ50の石英ガラス52を透過して、光ファイバ12の先端部のGIFチップレンズ12aに入射する。このようにして、光ファイバ11を伝搬してきた光は、光ファイバ12のみに低損失に伝搬していく。

【0041】図3は、光ファイバ12から光が入射した場合の光伝搬の説明図である。この場合、光ファイバ12の先端部のGIFチップレンズ12aから出射された光は、偏光ビームスプリッタ50の石英ガラス52を透過して、光アイソレータ素子30の複屈折性平板34に入射する。すると、複屈折性平板34により、その光は

13

互いに直交する偏光成分（常光線と異常光線）によって互いに異なる方向に伝搬し、ファラデー回転子36を経て常光線と異常光線とが入れ替わり、複屈折性平板33により更に分離され、複屈折性平板33を出た所で偏光成分間の分離幅は $W/2$ となる。その光の偏光成分それぞれは、更に常光線と異常光線とが入れ替わって複屈折性平板32に入射し、ファラデー回転子35によりもう一度常光線と異常光線とが入れ替わり、複屈折性平板31を経て分離幅は W に拡大される。そして、その一方の偏光成分は、偏光ビームスプリッタ40の偏光膜44により反射され、さらに偏光膜45により反射されて、光ファイバ13のGIFチップレンズ13aに入射する。他方の偏光成分は、偏光ビームスプリッタ40の偏光膜45を透過して、やはり、光ファイバ13の先端部のGIFチップレンズ13aに入射する。このようにして、光ファイバ12を伝搬してきた光は、光ファイバ13のみに低損失に伝搬していく。

【0042】図4は、光ファイバ13から光が入射した場合の光伝搬の説明図である。この場合、光ファイバ13の先端部のGIFチップレンズ13aから出射された光は、偏光ビームスプリッタ40の偏光膜45に入射して、互いに直交する偏光成分に2分岐される。偏光膜45を透過した偏光成分は、光アイソレータ素子30を通過した後、偏光ビームスプリッタ50の偏光膜55および54により順次反射され、光ファイバ14の先端部のGIFチップレンズ14aに入射する。一方、偏光膜45で反射した偏光成分は、偏光膜44により更に反射され、光アイソレータ素子30を通過した後、偏光ビームスプリッタ50の偏光膜54を透過し、やはり、光ファイバ14の先端部のGIFチップレンズ14aに入射する。このようにして、光ファイバ13を伝搬してきた光は、光ファイバ14のみに低損失に伝搬していく。

【0043】図5は、光ファイバ14から光が入射した場合の光伝搬の説明図である。この場合、光ファイバ14の先端部のGIFチップレンズ14aから出射された光は、偏光ビームスプリッタ50の偏光膜54に入射して、互いに直交する偏光成分に2分岐される。偏光膜54を透過した偏光成分は、光アイソレータ素子30を通過した後、偏光ビームスプリッタ40の石英ガラス41を透過して出射されるが、その出射位置には光ファイバが存在しない。一方、偏光膜54で反射した偏光成分は、偏光膜55により更に反射され、光アイソレータ素子30を通過した後、偏光ビームスプリッタ40の石英ガラス43を透過して出射されるが、その出射位置には光ファイバが存在しない。偏光ビームスプリッタ40から出射される偏光成分ごとの出射位置は分離幅 $2W$ だけ離れており、結局、何れの光ファイバへも伝搬することはない。

【0044】次に、本発明に係る3ポート光サーキュレータについて説明する。図6は、本発明に係る3ポート

14

光サーキュレータの構成図であり、図6(a)は、光サーキュレータの構造説明図であり、図6(b)は、光サーキュレータの機能説明図である。この3ポート光サーキュレータ200は、光アイソレータ素子30および偏光ビームスプリッタ40を備えるものであり、図1で説明した4ポート光サーキュレータ100から偏光ビームスプリッタ50を取り除いたものである。この図では、この光サーキュレータ200の第1のポートの位置に第1の光ファイバ11の先端部が、第2のポートの位置に第2の光ファイバ12の先端部が、第3のポートの位置に第3の光ファイバ13の先端部が、それぞれ配されている。

【0045】このような光サーキュレータ200は、図6(b)に示すように、光ファイバ11を伝搬してきた光を入射して光ファイバ12に出射し、光ファイバ12を伝搬してきた光を入射して光ファイバ13に出射するものである。以下、この光サーキュレータ200と各光ファイバとの配置関係および光サーキュレータ200の作用の詳細について図7および図8を用いて説明する。

【0046】図7は、光ファイバ11から光が入射した場合の光伝搬の説明図である。この場合、光ファイバ11の先端部のGIFチップレンズ11aから出射された光は、偏光ビームスプリッタ40の石英ガラス42を透過して、光アイソレータ素子30の複屈折性平板31に入射する。すると、複屈折性平板31により、その光は互いに直交する偏光成分（常光線と異常光線）によって互いに異なる経路を進むが、ファラデー回転子35を経て複屈折性平板32を出た所で再び合一される。更に、その光は、複屈折性平板33に入射して常光線と異常光線とが入れ替わり、複屈折性平板33、ファラデー回転子36および複屈折性平板34により、途中では偏光成分に応じて分離されるが、出射される時点では合一されて出射される。そして、その出射光は、光ファイバ12の先端部のGIFチップレンズ12aに入射する。このようにして、光ファイバ11を伝搬してきた光は、光ファイバ12のみに低損失に伝搬していく。

【0047】図8は、光ファイバ12から光が入射した場合の光伝搬の説明図である。この場合、光ファイバ12の先端部のGIFチップレンズ12aから出射された光は、光アイソレータ素子30の複屈折性平板34に入射し、この複屈折性平板34により、その光は互いに直交する偏光成分（常光線と異常光線）によって互いに異なる方向に伝搬し、ファラデー回転子36により常光線と異常光線とが入れ替わり、複屈折性平板33により更に分離され、複屈折性平板33を出た所で偏光成分間の分離幅は $W/2$ となる。その光の偏光成分それぞれは、複屈折性平板32に入射して更に常光線と異常光線とが入れ替わり、ファラデー回転子35によりもう一度常光線と異常光線とが入れ替わり、複屈折性平板31を経て、分離幅は W に拡大される。そして、その一方の偏光

成分は、偏光ビームスプリッタ40の偏光膜44により反射され、さらに偏光膜45により反射されて、光ファイバ13のGIFチップレンズ13aに入射する。他方の偏光成分は、偏光ビームスプリッタ40の偏光膜45を透過して、やはり、光ファイバ13の先端部のGIFチップレンズ13aに入射する。このようにして、光ファイバ12を伝搬してきた光は、光ファイバ13のみに低損失に伝搬していく。

【0048】なお、光ファイバ13から光が入射した場合には、光アイソレータ素子30を光が通過して出射される地点は、光ファイバ12aの先端部の配置位置より上方であるので、何れの光ファイバへも伝搬することはない。

【0049】次に、本発明に係る光サーキュレータの製造方法の1例について説明する。図9は、光アイソレータ素子の製造方法の説明図である。図9(a)に示すように、最初に、それぞれが所定厚さであって大面積の複屈折性平板31A、ファラデー回転子35A、複屈折性平板32A、複屈折性平板33A、ファラデー回転子36Aおよび複屈折性平板34Aをこの順に、光に対して透明な接着剤で固定する。その後、所望の大きさに切断して、図9(b)に示す光アイソレータ素子30を作成する。

【0050】また、図10は、偏光ビームスプリッタの製造方法の説明図である。図10(a)に示すように、最初に、それぞれが所定厚さであって大面積の石英ガラス板41A、42Aおよび43Aを用意し、そのうちの石英ガラス板42Aの両面に偏光膜44Aおよび45Aを形成し、これら3枚の石英ガラス板を光に対して透明な接着剤で固定する。その後、石英ガラス板面に対して45度の角度で所望の大きさに切断し(図10(b))、その切断面を研磨し、偏光ビームスプリッタ40を製造する(図10(c))。偏光ビームスプリッタ50も同様にして製造される。

【0051】そして、このようにして製造した光アイソレータ素子30および偏光ビームスプリッタ40、50から、図1に示した4ポートの光サーキュレータを組み立てる。図11は、光サーキュレータの製造方法の説明図である。基板60は、例えばシリコン基板であって、例えば異方性ウェットエッチング等により中央部に矩形状の溝部60aが形成されている。この基板60の溝部60aは、偏光ビームスプリッタ40、光アイソレータ素子30および偏光ビームスプリッタ50を挿入するのに丁度の大きさであり、これら3者は、溝部60aに挿入されることにより、正確な位置に固定配置される。

【0052】以上のようにして、光アイソレータ素子30および偏光ビームスプリッタ40、50を製造し、光サーキュレータを組み立てることにより、加工性および組立性において優れ、工程が簡略化され、また、位置精度にも優れる。

【0053】次に、図1および図6それぞれで説明した4ポート光サーキュレータおよび3ポート光サーキュレータを用いた光分岐挿入部品について説明する。図12は、本発明に係る光分岐挿入部品に用いられる4ポート光サーキュレータと光ファイバとの構成図である。この図では、4ポート光サーキュレータ100の各ポートそれぞれに光ファイバ21乃至24が接続されている。ここで、少なくとも光ファイバ21および23は、1つのテープ状光ファイバを構成する光ファイバであり、たかだか250 μ mの光軸間距離で、両者は平行配置されている。また、光ファイバ21および23には、所定波長の光信号をブラッグ反射させるブラッグ型回折光子(ファイバグレーティング)21bおよび23bそれぞれが形成されている。光ファイバ21および23がテープ状光ファイバ内の光ファイバであるので、被覆除去、レーザ照射、再被覆などの加工処理を一括して行って同時にファイバグレーティング21bおよび23bを形成することができる。したがって、光ファイバの個々にファイバグレーティングを形成する場合と比較して、簡略な工程で形成することができる。

【0054】図13は、このような4ポート光サーキュレータと3ポート光サーキュレータとから構成される光分岐挿入部品の構成図である。4ポート光サーキュレータ100、および、これに接続する光ファイバ21乃至24は、図12で説明したものと同一である。光ファイバ23の一方の端部は、3ポート光サーキュレータ200の所定の1ポートに接続され、3ポート光サーキュレータ200の他の2ポートそれぞれには、光ファイバ25および26それぞれが接続されている。この光分岐挿入部品において、光ファイバ22および26それぞれは他端は通信システムのネットワークに接続され、光ファイバ21、24および25それぞれは他端は通信システムの加入局に接続される。なお、ファイバグレーティング21bおよび23bそれぞれは、波長 λ 2の光信号を選択的にブラッグ反射させるものとし、光フィルタとしての役割を果たすものである。

【0055】例えば、ネットワークから光ファイバ22を伝搬してきた3波長 λ 1、 λ 2および λ 3それぞれの光信号は、光分岐挿入部品の4ポート光サーキュレータ100に入射すると、その3波長すべての光信号が光ファイバ23に出射される。そして、そのうち波長 λ 2の光信号は、光ファイバ23のファイバグレーティング23bでブラッグ反射されて、再び4ポート光サーキュレータ100に入射して、光ファイバ24に出射され、加入局へ伝搬していく。しかし、波長 λ 1および λ 3それぞれの光信号は、ファイバグレーティング23bを透過して、3ポート光サーキュレータ200に入射して、光ファイバ26に出射され、ネットワークへ伝搬していく。

【0056】一方、加入局から光ファイバ25を伝搬し

17

てきた波長 λ_2 の光信号は、3ポート光サーキュレータ200に入射して、光ファイバ23へ出射される。しかし、その波長 λ_2 の光信号は、光ファイバ23のファイバグレーティング23bで反射されて、再び3ポート光サーキュレータ200に入射して、光ファイバ26に出射され、ネットワークへ伝搬していく。

【0057】以上のように、ネットワークから光ファイバ22を伝搬してきた3波長の光信号のうち波長 λ_1 および λ_3 の光信号は、4ポート光サーキュレータ100および3ポート光サーキュレータ200を経て、光ファイバ26に出射され、再びネットワークへ戻っていく。一方、ネットワークから光ファイバ22を伝搬してきた3波長の光信号のうち波長 λ_2 の光信号は、4ポート光サーキュレータ100を経て、光ファイバ24に出射され、加入局へ伝搬していく。逆に、加入局から光ファイバ25を伝搬してきた波長 λ_2 の光信号は、3ポート光サーキュレータ200を経て、光ファイバ26に出射され、ネットワークへ伝搬していく。

【0058】なお、この図に示す光分岐挿入部品は、加入局から光ファイバ21を伝搬してきたモニタ用の予備光（波長は λ_2 ではない）を、4ポート光サーキュレータ100を経て、光ファイバ22に出射して、ネットワークへ伝搬させることができる。このモニタ用の予備光は、例えば、光ファイバ21および22ならびに4ポート光サーキュレータ100の異常の有無を診断するのに用いられ得る。

【0059】また、上記の光分岐挿入部品は、4ポート光サーキュレータと3ポート光サーキュレータとから構成されたものであったが、2つの3ポート光サーキュレータから構成されてもよいし、2つの4ポート光サーキュレータから構成されてもよい。

【0060】次に、4ポート光サーキュレータを試作して評価した結果について説明する。試作した4ポート光サーキュレータ100の光アイソレータ素子30は、複屈折性平板31、32、33および34それぞれがルチル結晶板であり、それぞれの厚さが、1110 μm 、1570 μm 、1570 μm および1110 μm である（式（1）に相当）。ファラデー回転子35および36それぞれは、波長1.55 μm 用のものであって、厚さが450 μm である。そして、図9で説明した製造方法により、口径が1000 μm ×1000 μm であって合計の厚さが6300 μm の光アイソレータ素子30を製造した。この光アイソレータ素子30を単体で評価した結果、互いに直交する偏光成分の分離幅Wは約400 μm であった。

【0061】試作した4ポート光サーキュレータ100の偏光ビームスプリッタ40（偏光ビームスプリッタ50も同様）は、図10で説明した製造方法により、厚さ212 μm の石英ガラス板の両面に波長1.55 μm 用の偏光膜を蒸着して形成し、この両面に、厚さ141 μ

18

mの石英ガラスを張り合わせ、45度の角度で切断し研磨して製造した。試作した偏光ビームスプリッタ40は、口径が1000 μm ×1000 μm であって厚さが200 μm であった。

【0062】このようにして製造した光アイソレータ素子30および偏光ビームスプリッタ40、50を、シリコン基板を材料として製造した基板60の溝部60aに挿入して、互いに接着固定した。そして、図14の外観図に示すように、これらを永久磁石とともに光サーキュレータ用金属筐体110内に装着した。また、光ファイバ11および13それぞれの先端部の間の間隔を200 μm として、それぞれの先端部を光ファイバ用金属筐体120内に装着した。同様に、光ファイバ14および12それぞれの先端部の間の間隔を200 μm として、それぞれの先端部を光ファイバ用金属筐体130内に装着した。そして、各光ファイバ間の光の挿入損失をモニタしながら、光サーキュレータ用金属筐体110ならびに光ファイバ用金属筐体120および130の間の位置調整を行って、最低挿入損失が計測された位置関係で、これら3者の金属筐体をYAGレーザ光により溶接固定した。

【0063】以上のようにして金属筐体110に装着された4ポート光サーキュレータ100を評価したところ、光ファイバ11から光ファイバ12への挿入損失、光ファイバ12から光ファイバ13への挿入損失、および、光ファイバ13から光ファイバ14への挿入損失それぞれは、1.5dB以下であった。また、これ以外の光ファイバ間のアイソレーション（阻止損失）は、42dB～48dBであった。

【0064】なお、4ポート光サーキュレータ100の光アイソレータ素子30の複屈折性平板31、32、33および34それぞれの厚さを、1080 μm 、2610 μm 、1080 μm および2610 μm として（式（2）に相当）、同様に製造し評価した場合も、同様の特性であった。また、光ファイバ11および13それぞれの先端部の間の間隔ならびに光ファイバ14および12それぞれの先端部の間の間隔を、180 μm および220 μm それぞれにしたところ、光ファイバ11から光ファイバ12への挿入損失および光ファイバ13から光ファイバ14への挿入損失それぞれは、3dB以上となり劣化した。

【0065】次に、3ポート光サーキュレータを試作して評価した結果について説明する。試作した3ポート光サーキュレータ200の光アイソレータ素子30は、複屈折性平板31、32、33および34それぞれがルチル結晶板であり、それぞれの厚さが、740 μm 、1050 μm 、1050 μm および740 μm である（式（1）に相当）。ファラデー回転子35および36それぞれは、波長1.55 μm 用のものであって、厚さが450 μm である。そして、図9で説明した製造方法によ

19

り、口径が $900\mu\text{m}\times 900\mu\text{m}$ であって合計の厚さが $4500\mu\text{m}$ の光アイソレータ素子30を製造した。この光アイソレータ素子30を単体で評価した結果、互いに直交する偏光成分の分離幅Wは約 $270\mu\text{m}$ であった。

【0066】試作した3ポート光サーキュレータ200の偏光ビームスプリッタ40は、図10で説明した製造方法により、厚さ $141\mu\text{m}$ の石英ガラス板の両面に波長 $1.55\mu\text{m}$ 用の偏光膜を蒸着して形成し、この両面に、厚さ $94\mu\text{m}$ の石英ガラスを張り合わせ、 45° の角度で切断し研磨して製造した。試作した偏光ビームスプリッタ40は、口径が $900\mu\text{m}\times 900\mu\text{m}$ であって厚さが $135\mu\text{m}$ であった。

【0067】このようにして製造した光アイソレータ素子30および偏光ビームスプリッタ40を、シリコン基板を材料として製造した基板60の溝部60aに挿入して、互いに接着固定した。そして、図15の外観図に示すように、これらを永久磁石とともに光サーキュレータ用金属筐体210内に装着した。また、光ファイバ11および13それぞれの先端部の間の間隔を $135\mu\text{m}$ として、それぞれの先端部を光ファイバ用金属筐体220内に装着した。同様に、光ファイバ12の先端部を光ファイバ用金属筐体230内に装着した。そして、各光ファイバ間の光の挿入損失をモニタしながら、光サーキュレータ用金属筐体210ならびに光ファイバ用金属筐体220および230の間の位置調整を行って、最低挿入損失が計測された位置関係で、これら3者の金属筐体をYAGレーザ光により溶接固定した。

【0068】以上のようにして金属筐体210に装着された3ポート光サーキュレータ200を評価したところ、光ファイバ11から光ファイバ12への挿入損失は 0.7dB であり、光ファイバ12から光ファイバ13への挿入損失は 1.0dB であった。また、光ファイバ12から光ファイバ11へのアイソレーション（阻止損失）は 45dB であり、光ファイバ13から光ファイバ12へのアイソレーションは 44dB であった。

【0069】次に、図12で説明したファイバグレーティングが形成された光ファイバが接続された4ポート光サーキュレータを試作して評価した結果について説明する。光ファイバ21および23は、テープ状光ファイバ内の光ファイバ同士であって、両者間の間隔は $250\mu\text{m}$ である。光ファイバ21および23それぞれの一部の被覆を除去し、位相マスクを介してエキシマレーザ光を一括して照射してファイバグレーティング21bおよび23bそれぞれを同時に形成し、強度保持のため再被覆した。光ファイバ21および23それぞれに形成されたファイバグレーティング21bおよび23bそれぞれは共に、中心波長が $1.55\mu\text{m}$ 、遮断波長幅が 0.5nm 、クロストークが 30dB である。また、4ポート光サーキュレータ100については上記と同様に試作し

20

た。これを評価したところ、光ファイバ21から光ファイバ22への挿入損失、光ファイバ22から光ファイバ23への挿入損失、および、光ファイバ23から光ファイバ24への挿入損失それぞれは、 2.0dB 以下であった。また、これら以外の光ファイバ間のアイソレーション（阻止損失）は、 $42\text{dB}\sim 48\text{dB}$ であった。

【0070】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり本発明によれば、4ポート光アイソレータの場合には、それぞれ2つの偏光膜が所定方向・所定間隔で形成された2つの偏光ビームスプリッタで光アイソレータ素子を挟んで構成され、また、3ポート光アイソレータの場合には、2つの偏光膜が所定方向・所定間隔で形成された偏光ビームスプリッタと光アイソレータ素子とを備えて構成されるので、少ない部品点数で小型の光サーキュレータが実現される。

【0071】また、従来の光サーキュレータでは偏光ビームスプリッタによりアイソレーション作用が行なわれていたものが、本発明の光サーキュレータでは光アイソレータ素子によりアイソレーション作用が行われるので、従来の光サーキュレータのアイソレーション特性が 30dB 以下であったのに対して、本発明に係る光サーキュレータのアイソレーション特性は 40dB 以上という極めて優れた結果が得られた。

【0072】また、光サーキュレータの各ポートに光ファイバを接続し、更にその光ファイバの先端部にGIFチップレンズのような微小レンズを装着することにより、これらを含めて小型で安価なものとなる。また、光アイソレータ素子および偏光ビームスプリッタを矩形溝加工された基板の溝部に装着することにより、組立が容易となり位置精度にも優れた光サーキュレータとなる。

【0073】また、本発明に係る光分岐挿入部品は、この光サーキュレータを用いて構成されるので、少ない部品点数で製造工程が簡略化され、小型で優れた特性のものとなる。

【0074】したがって、本発明に係る光サーキュレータおよびこれを用いた光分岐挿入部品は、波長多重通信方式における双方向通信システムにおいて使用するに好適なものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る4ポート光サーキュレータの構成図である。

【図2】本発明に係る4ポート光サーキュレータにおける光伝搬の第1の説明図である。

【図3】本発明に係る4ポート光サーキュレータにおける光伝搬の第2の説明図である。

【図4】本発明に係る4ポート光サーキュレータにおける光伝搬の第3の説明図である。

【図5】本発明に係る4ポート光サーキュレータにおける光伝搬の第4の説明図である。

21

22

【図6】本発明に係る3ポート光サーキュレータの構成図である。

【図7】本発明に係る3ポート光サーキュレータにおける光伝搬の第1の説明図である。

【図8】本発明に係る3ポート光サーキュレータにおける光伝搬の第2の説明図である。

【図9】光アイソレータの製造方法の説明図である。

【図10】偏光ビームスプリッタの製造方法の説明図である。

【図11】本発明に係る光サーキュレータの組立方法の説明図である。

【図12】本発明に係る光分岐挿入部品に用いられる4ポート光サーキュレータと光ファイバとの構成図である。

【図13】本発明に係る光分岐挿入部品の構成図である。

【図14】4ポート光サーキュレータを内部に装着した金属筐体の外観図である。

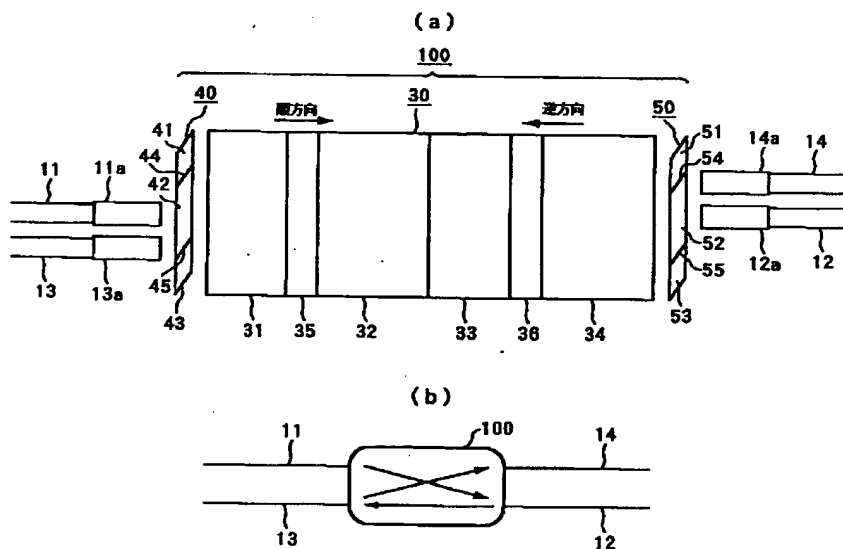
【図15】3ポート光サーキュレータを内部に装着した金属筐体の外観図である。

【図16】光分岐挿入部品の構成図である。

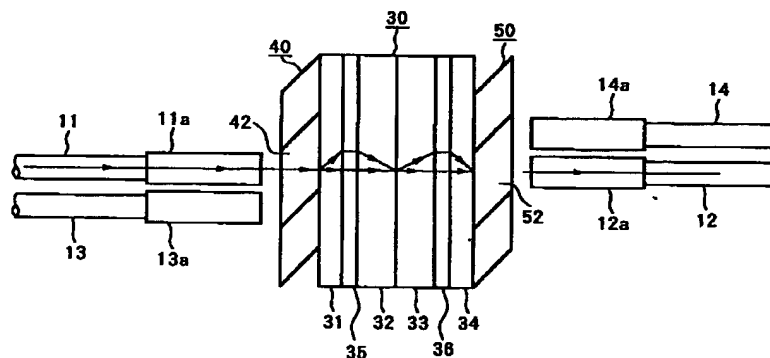
【符号の説明】

11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 25, 26…光ファイバ、30…光アイソレータ素子、31, 32, 33, 34…複屈折性平板、35, 36…ファラデー回転子、40…偏光ビームスプリッタ、41, 42, 43…石英ガラス、44, 45…偏光膜、50…偏光ビームスプリッタ、51, 52, 53…石英ガラス、54, 55…偏光膜、60…基板、100…4ポート光サーキュレータ、200…3ポート光サーキュレータ。

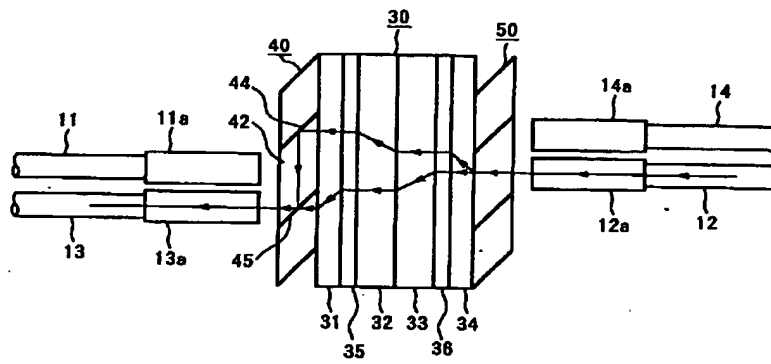
【図1】



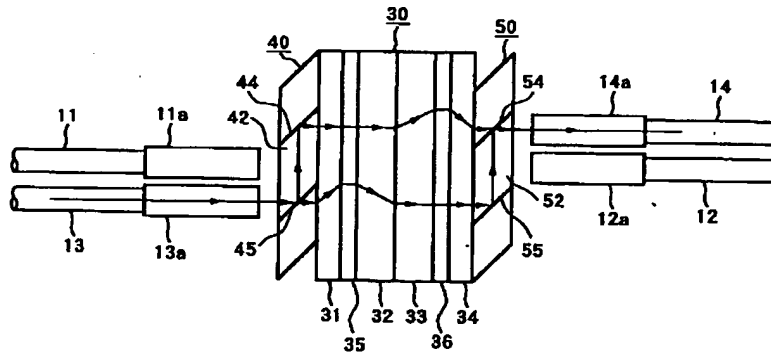
【図2】



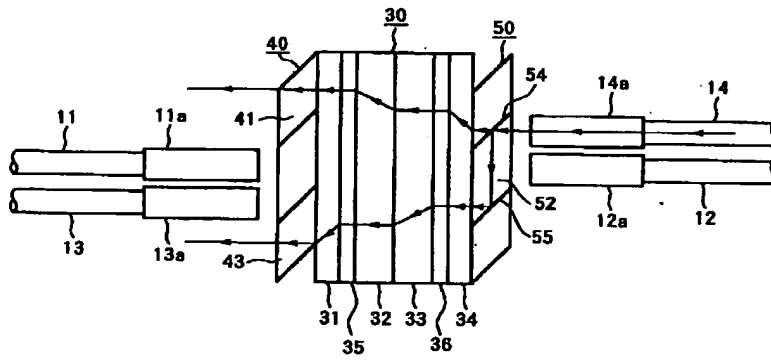
【図3】



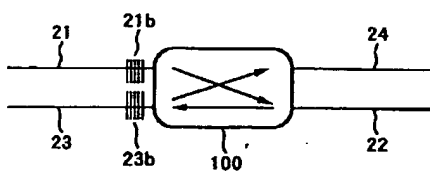
【図4】



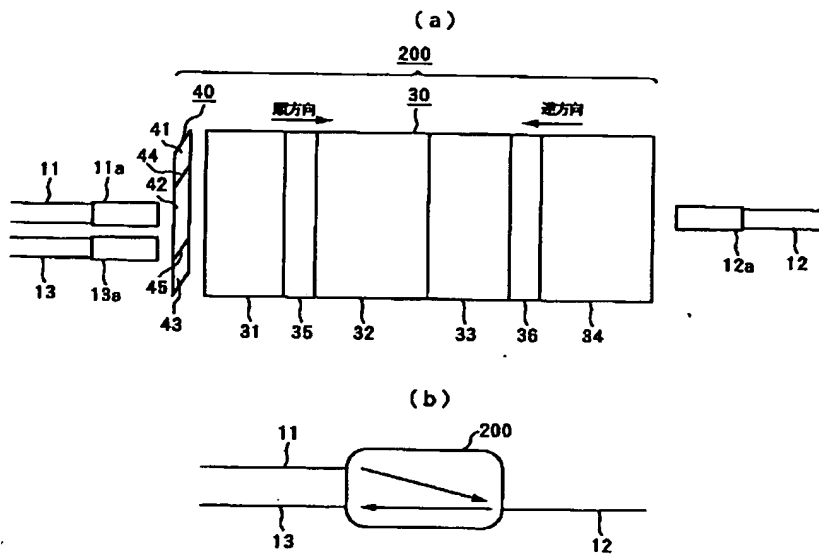
【図5】



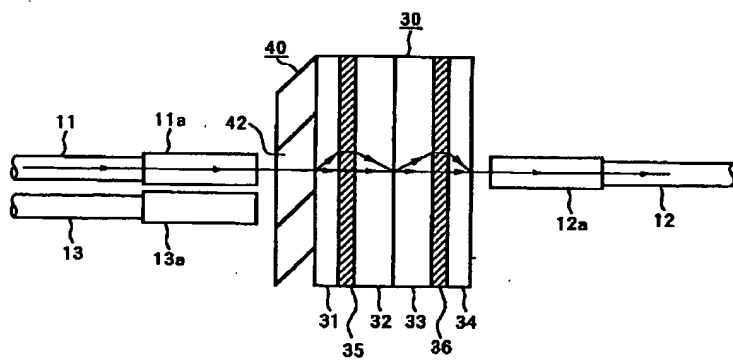
【図12】



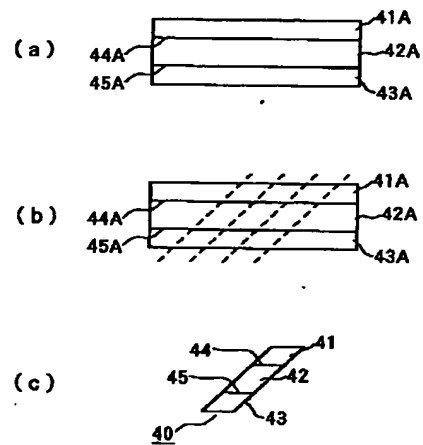
【図6】



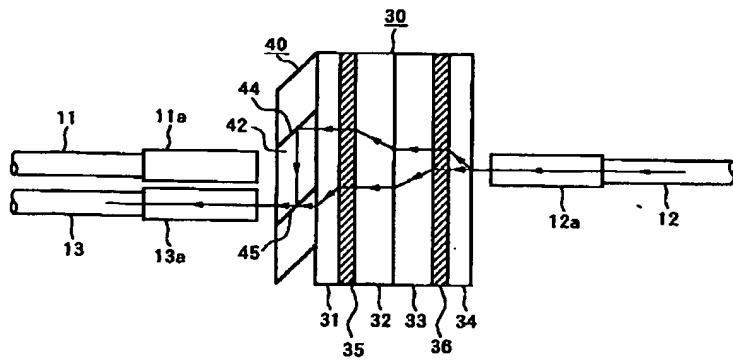
【図7】



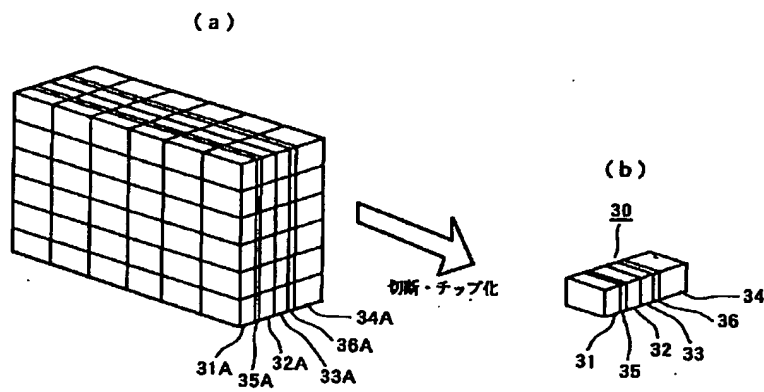
【図10】



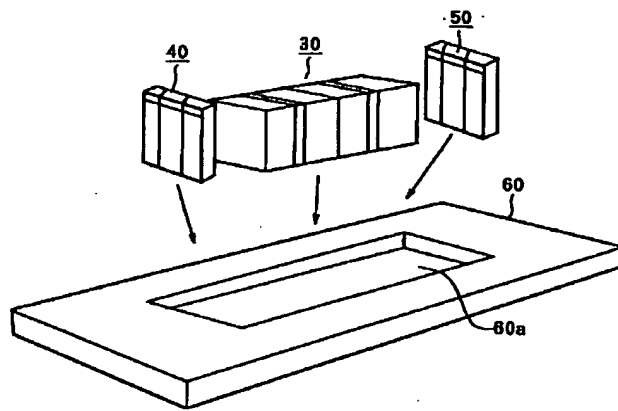
【図8】



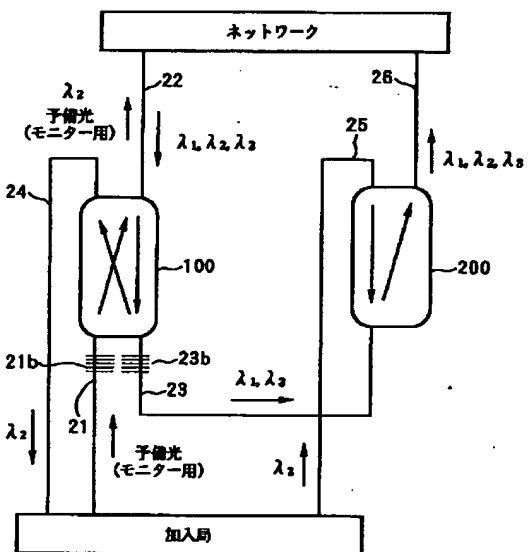
【図9】



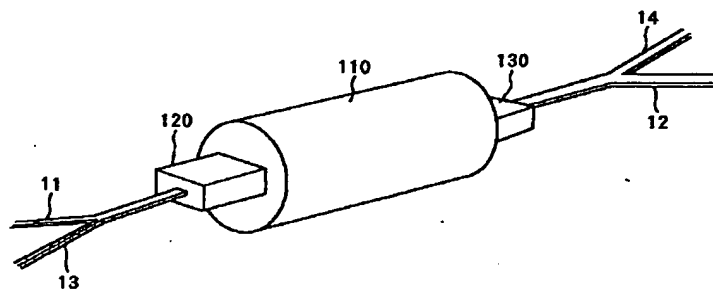
【図11】



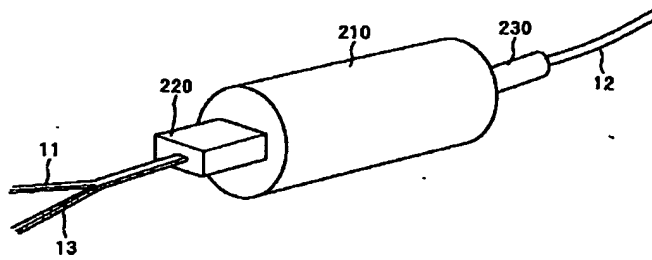
【図13】



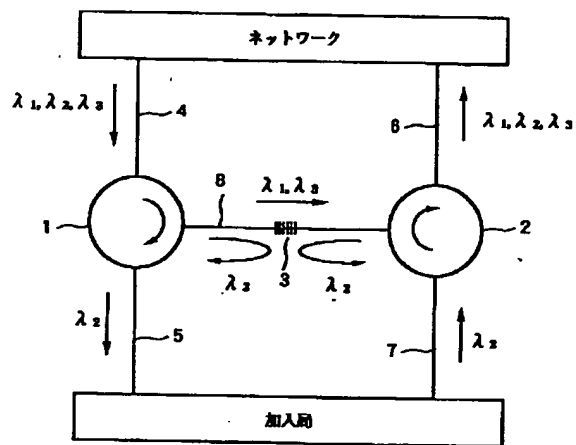
【図14】



【図15】



【図16】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.